

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN SCIENCES DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE

PAR
MARIE-HÉLÈNE BÉLANGER

IMPACT DES BÂTONS DE MARCHE SUR LE COÛT MÉTABOLIQUE ET LA FATIGUE
EN RANDONNÉE

Août 2006

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

RÉSUMÉ

Les adeptes de randonnées pédestres se voient offrir une panoplie d'équipement spécialisé, indispensable si l'on en croit les vendeurs. Parmi cet attirail, on retrouve les bâtons de marche dont les fabricants vantent la faculté de réduire les choc aux articulations et de favoriser un modèle de marche plus naturel et confortable. Quelques rares études en laboratoire, et encore moins sur le terrain, se sont appliquées à décrire l'impact réel de ces bâtons sur les plans biomécanique et physiologique. En ne se préoccupant que des études préconisant un balancement naturel des bras (tel celui d'un randonneur plutôt que d'un marcheur désireux d'augmenter son intensité d'effort), il semble que ni la fréquence cardiaque, ni la dépense énergétique ne serait modifiée par l'utilisation des bâtons en randonnée, alors que la perception de l'effort semble diminuer légèrement. Cependant, deux principales lacunes caractérisent les études répertoriées, soient le non-respect d'une durée suffisante pour refléter l'activité et le fait d'expérimenter sur ergomètre (bien lisse et bien égale) des outils destinés à un terrain accidenté.

La présente étude a voulu pallier à ces lacunes en respectant le mieux possible le contexte spatio-temporel de la randonnée pédestre. Ainsi, six jeunes hommes et six jeunes femmes ont pratiqué à deux reprises, selon un protocole croisé, une randonnée de 17 km avec et sans bâtons de marche. Leurs fréquences cardiaques ont été enregistrées à toutes les minutes. Des tests de capacité respiratoire sur tapis roulant ont permis

l'interpolation de la dépense énergétique de chaque sujet sur le terrain. Le taux de lactate sanguin a également été mesuré à trois reprises au cours de chacun des essais : avant la randonnée, à mi-chemin (suivant une bonne ascension) et en fin de parcours. Des tests de force des membres inférieurs ont aussi été pratiqués avant et après l'effort. La perception de fatigue des membres inférieurs, des membres supérieurs, de même que la perception d'effort général ont été vérifiées à partir d'une échelle de perception.

Les résultats montrent qu'il y a en effet peu d'impact physiologique à l'utilisation de bâtons de marche en randonnée. La fréquence cardiaque moyenne des sujets féminins de même que la consommation d'oxygène de tous les sujets augmentent significativement avec l'utilisation des bâtons ($P < 0,05$). Outre ces paramètres, les différents résultats, au niveau du taux de lactate, des tests de force et des échelles de perception, restent plus ou moins inchangés avec ou sans bâtons.

En fait, comme les différences sont très modérées, davantage de sujets auraient été nécessaires pour confirmer statistiquement les différentes tendances que montrent les résultats. Ces tendances sont une légère augmentation de la fréquence cardiaque, de la dépense énergétique, de la perception de l'effort des membres supérieurs et inférieurs et de la concentration de lactate dans le sang de même qu'une infime diminution de la perception de l'effort général avec les bâtons.

REMERCIEMENTS

Merci est un mot si simple, si court mais si doux... C'est un grand plaisir pour moi d'officialiser un grand merci à messieurs Claude Brouillette et Pierre Black, tous deux des aides précieuses dans l'élaboration des instruments de mesures et du protocole d'expérimentation. Merci également à M. François Trudeau, Ph.D., pour sa confiance et toutes ses corrections, mais avant tout pour toutes les connaissances qu'il met à la disposition des étudiants et qui furent une source d'admiration et de motivation tout au long de ma maîtrise. Un jour peut-être saurai-je quelque chose qu'il ignore! Merci aussi aux compagnies pétrolières qui ont su attendre la fin de mes expérimentations avant de hausser abominablement leur prix ! Mais le plus sérieusement du monde, je réserve le plus grand des mercis et ma plus profonde gratitude à tous ceux qui ont sué pour cette étude et qui ont parcouru 34 kilomètres de sentiers accidentés sans aucune autre récompense que mon éternelle reconnaissance. À toute la délégation française ayant découvert en ma compagnie le Parc de la Mauricie: merci, merci et merci.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	ii
REMERCIEMENTS	iv
TABLE DES MATIÈRES	v
LISTE DES TABLEAUX.....	vii
LISTE DES FIGURES.....	viii
CHAPITRES	
I. INTRODUCTION	1
Problématique et hypothèses	5
II. MÉTHODOLOGIE	9
Sujets	9
Protocole	10
Analyse statistique	16
III. RÉSULTATS	17
a. Fréquence cardiaque et dépense énergétique.....	17
b. Perception de l'effort.....	22
c. Fatigue des membres inférieurs.....	23
d. Lactatémie.....	24
IV. DISCUSSION	26
a. Consommation d'oxygène et dépense calorique	27

b. Fatigue des membres inférieurs	29
c. Taux de lactate sanguin	31
 V. CONCLUSION	32
RÉFÉRENCES	34
ANNEXE A	38
ANNEXE B	40

LISTE DES TABLEAUX

Tableaux

1.1 Études existantes	4
2.1 Participants.....	9
2.2 Protocoles des tests de capacité aérobie.....	13
3.1 Taux de lactate dans le sang (mmol/L)	25

LISTE DES FIGURES

Figures

1.1	Modèle du mouvement de la poussée d'une jambe vers le bas.....	7
3.1	Fréquences cardiaques moyennes.....	18
3.2	Paliers complétés au $\dot{V}O_2$ max, selon le sexe.....	20
3.3	Consommation d'oxygène moyenne par minute par kg, avec et sans bâtons ...	22
3.4	Perception de fatigue et d'effort, avec et sans bâtons.....	23
3.5	Différence de force après la randonnée par rapport à avant, avec et sans bâtons, par participant.....	24
3.6	Concentration de lactate à mi-parcours et en fin de parcours, avec et sans bâtons.....	25

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

L'utilisation de bâtons de marche en randonnée est de plus en plus répandue. Si l'image du pèlerin d'antan est indissociable du long bâton de bois taillé à la main et légèrement tordu, les marcheurs d'aujourd'hui se procurent de préférence deux bâtons ajustables qui ressemblent davantage à ceux utilisés pour le ski. La marche étant bilatérale et symétrique, il semble aller de soi qu'une paire de bâtons permettra un modèle de marche plus naturel. Par ailleurs, les manufacturiers de tels produits vantent leur aptitude à réduire les chocs et à accroître la stabilité et l'assurance. Le travail des membres supérieurs est cependant accru et certains se demandent si cette charge supplémentaire n'augmentera pas plutôt la dépense énergétique du randonneur. En effet, des bâtons tout à fait semblables à ceux que l'on retrouve maintenant dans tous les magasins de plein-air ont été vendus sous prétexte de maximiser le coût calorique et l'intensité cardiovasculaire de la marche. L'utilisation de « Power PolesTM » par exemple, selon une étude de Porcari, Hendrickson, Walter, Terry et Walsko (1997), augmente en moyenne de 23% la consommation en oxygène, de 22% la dépense calorique et de 16% la fréquence cardiaque chez 32 sujets. Plusieurs études ont également été menées afin de mesurer l'impact de charges portées dans les mains ou aux poignets sur la dépense énergétique (DÉ), la fréquence cardiaque (FC) et la perception de l'effort. Ces études concluent généralement à une augmentation de la FC et de la DÉ, alors que les résultats concernant la perception de l'effort sont mitigés. De là à penser que l'utilisation de bâtons de marche en randonnée aura approximativement le même

effet, il n'y a qu'un pas... Un pas qu'il faut pourtant peut-être hésiter à franchir, compte tenu des conditions expérimentales des différentes études. Effectivement, dans tous les cas, les chercheurs ont encouragé un mouvement plus dynamique que naturel des bras. Par ailleurs, la marche sur tapis roulant sans port d'une charge additionnelle, telle qu'adoptée lors de ces expériences, est fort éloignée des conditions réelles rencontrées par l'adepte de randonnée pédestre.

Des chercheurs ont donc commencé à s'attaquer à la question de l'utilisation de bâtons de marche en respectant le plus possible leur raison d'être, la technique appropriée et les conditions habituelles d'utilisation. La recherche en ce sens n'est pourtant qu'à l'état embryonnaire et de nombreuses questions demeurent sans réponse jusqu'à ce jour. Les expérimentations s'en tiennent surtout à la simulation sur ergomètre et ne durent que peu de temps par rapport aux expéditions d'une journée et plus, pour lesquelles les bâtons sont particulièrement conseillés. Grâce aux études existantes, nous disposons du moins de bonnes pistes quant à l'impact de l'utilisation de ces outils sur plusieurs aspects biomécaniques et physiologiques de la marche.

Les chercheurs se sont attardés à reproduire au moins deux conditions propres à la longue randonnée, soit le port d'un sac à dos relativement lourd et la dénivellation du terrain (se concentrant surtout sur la pente ascendante). Isolée, la première condition tend à modifier le patron de marche de sujets en augmentant la cadence de leurs pas et en en réduisant l'étendue, bien que cette tendance puisse être renversée selon le réglage

de la vitesse (Falola, Brisswalter et Delpech, 1999). Évidemment, le coût énergétique de la marche et la fréquence cardiaque augmentent aussi proportionnellement à la charge supportée. L'inclinaison du tapis roulant semble avoir l'effet contraire sur la cadence et la longueur des foulées selon l'étude de Leroux, Fung et Barbeau (2002), soit une diminution de la première et une augmentation de la seconde au fur et à mesure que la pente devient ascendante et plus prononcée. D'autres chercheurs n'ont cependant pas observé de différences significatives à ce niveau (Vogt et Banzer, 1999). L'inclinaison du tronc serait également une variable de la marche positivement corrélée à la fois avec le port d'une charge et l'inclinaison du tapis. Une étude québécoise sur les adaptations posturales dans la marche sur des plans inclinés évalue la flexion du tronc à près de 6° sur le plat alors qu'elle atteint près de 12° dans une pente de 10% (Leroux et al., 2002). Toutes ces contraintes influent non seulement sur la posture du marcheur mais aussi sur l'effort musculaire et cardiovasculaire qu'il doit fournir. D'aucun contesteront le fait qu'il est plus fatigant de marcher en montagne que sur une route plane, et en transportant un sac de 20 kg qu'une petite sacochette! La question est donc de savoir si, et le cas échéant, comment l'utilisation de bâtons de marche peut réduire cette fatigue. Est-ce que, par exemple, les bâtons facilitent une posture plus économique dans les conditions retrouvées au cours d'une longue randonnée? Il semble du moins que, si le marcheur réduit systématiquement la longueur de ses foulées et en augmente la cadence pour maintenir une vitesse lorsqu'il porte une charge substantielle, les bâtons lui permettent de minimiser cette différence tout en réduisant les chocs, les amplitudes de mouvement et la sollicitation musculaire des membres inférieurs (Knight et Caldwell,

2000). La principale différence dans les résultats de ces études s'attachant à décrire l'impact de bâtons de marche dans leur utilisation «normale» par rapport à celles privilégiant un mouvement exagéré des membres supérieurs est au niveau de la DÉ et de la FC. Celles-ci n'augmenteraient ni ne diminueraient avec l'utilisation des pôles, malgré un travail accru des triceps (Jacobson, Wright et Dugan, 2000; Knight et Caldwell, 2000), laissant envisager un partage de l'effort avec les membres supérieurs, pour un travail total semblable. Par contre, la perception de l'effort tend à être moindre avec l'utilisation de bâtons (Jacobson et al., 2000; Jacobson et Wright, 1998; Knight et Caldwell, 2000).

Tableau 1.1

Études existantes

Auteurs	Lieu	Inclinaison	Charge	Fc (B) : Fc (SB)	DÉ (B)	RPE
Church, Earnest et Morss (2002)	terrain	0°	0 kg	>	>	>
Jacobson, Wright et Dugan (2000)	tapis roulant	25%	15 kg	≈	≈	<
Jacobson et Wright (1998)	terrain	40° et -40°	15 kg	≈		<
Knight et Caldwell (2000)	tapis roulant	5°	30% masse corporelle	>	≈	<
Knight, Merell et Caldwell (1998)	tapis roulant	5°	30% masse corporelle			
Porcari et al. (1997)	tapis roulant	0°	0 kg	>	>	>
Wilson et al. (2001)	laboratoire	0°	0 kg			

Fc= fréquence cardiaque, B=bâtons, SB=sans bâtons, DÉ=dépense énergétique, RPE=perception de l'effort, ≈=égal, >=plus grand, <= plus petit

Problématique

Il n'y a encore que peu d'études sur le sujet, ce qui limite la portée des conclusions que nous pourrions en tirer. Il faut approfondir la recherche afin de spécifier les différentes implications de l'utilisation de bâtons, mais cette fois-ci sur le terrain et après une période de temps prolongée, ce qui correspond aux failles les plus importantes des études existantes. Néanmoins, l'état actuel des connaissances amène une question particulière : **Quels facteurs peuvent expliquer la perception de l'effort diminuée dans la marche avec bâtons?**

Bien entendu, rien n'assure qu'une nouvelle expérience conclura en une réduction de l'effort perçu. Le présent projet vise surtout à observer différents facteurs communément associés à la fatigue et la façon dont ceux-ci varient selon l'utilisation ou non de bâtons. La FC et la dépense énergétique sont deux indicateurs de l'intensité d'exercice, mais la concentration de lactate a également été observée. Il est vrai que le rôle du lactate dans la fatigue musculaire est remis en cause dans la littérature scientifique mais, si la relation de causalité entre la présence de lactate et la fatigue n'est plus une certitude (Posterino, Dutka, et Lamb, 2001), la forte corrélation négative entre la concentration de lactate et la production de force ne semble pas près d'être réfutée. J. Berzelius observait déjà, dès 1847, que la concentration de lactate musculaire est proportionnelle à l'intensité de l'effort auquel celui-ci a été soumis (Spangenburg, Ward et Williams, 1998). Par ailleurs, l'idée d'une répartition du travail utilisant d'autres groupes musculaires dans la marche avec bâtons laisse envisager une intensité relative

moindre de chacun de ces groupes, et peut-être du fait même une diminution de la production d'acide lactique et du niveau sanguin de lactate. En effet, un besoin relatif plus faible en énergie dans un muscle, parce que compensé ailleurs, devrait favoriser la voie aérobie plutôt qu'anaérobie. La sélection des substrats énergétiques préférentiellement utilisés pourrait de ce fait varier si les demandes locales diminuent.

La force maximale avant et après un effort peut également être un bon indice de l'état de fatigue d'un groupe musculaire en particulier. On mesure parfois le degré de fatigue musculaire atteint dans les études traitant des causes de la fatigue. Spangenburg et al (1998) définissent d'ailleurs la fatigue périphérique comme l'incapacité passagère, induite par l'exercice, à maintenir une production de force donnée. Le pourcentage de réduction de la force par rapport à la force initiale est donc un critère pour quantifier la fatigue musculaire (Spangenburg et al. 1998; Posterino et al. 2001). Normalement, ce type de mesure réfère à un seul muscle ou une fibre musculaire et utilise préférentiellement une stimulation électrique afin d'isoler la fatigue périphérique de celle relative au système nerveux et aux neurotransmetteurs. Une telle procédure est ici exclue au profit de la mesure de la force combinée des extenseurs des membres inférieurs. Les extenseurs de la cuisse et de la jambe sont en effet les plus intéressants groupes musculaires à étudier étant donnée leur implication importante lors de la marche, particulièrement en montée (contraction concentrique) et en descente (contraction excentrique). En effet, à mesure que l'inclinaison s'accroît, davantage de propulsion est nécessaire de la part des membres inférieurs (Leroux, Fung et Barbeau, 1999). Ces

mêmes chercheurs ont observé une différence significative due à l'inclinaison chez des sujets normaux quant à l'amplitude de l'activité électromyographique pour le *vastus lateralis*, les *gastrocnemius* et le *soleus*, contrairement aux ischio-jambiers et au *tibialis anterior*. Porter une charge additionnelle a grossièrement le même effet (Stephens et Yang, 1999). Stephens et Yang (1999) rapportent d'ailleurs que lorsque la charge de travail est augmentée, par quelque moyen que ce soit, ce sont surtout les quadriceps, en particulier le *vastus lateralis* (VL), qui compensent:

«With increasing task demand, such as increasing walking speeds, walking on inclines, and running, the VL increases proportionately far more than the soleus in humans».

La poussée d'une jambe vers le bas, debout en équilibre sur l'autre (voir figure 1.1), reflète bien l'effort des extenseurs des membres inférieurs lors de la marche en montagne et sollicite ces muscles sensiblement dans la même position, quoique de façon statique. Cela devrait suffire à donner un bon indice du niveau de fatigue des membres inférieurs après la randonnée.

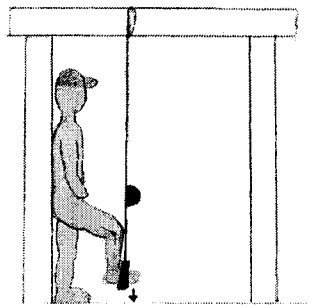


Figure 1.1 Modèle du mouvement de la poussée d'une jambe vers le bas

En somme, ce projet visait à définir si et comment l'utilisation de bâtons télescopiques en randonnée peut faire varier différents indices associés à la fatigue. L'expérimentation a par ailleurs tenté de pallier à certaines failles des études publiées dans le passé, soient le non respect d'une durée suffisante et des conditions réelles du terrain.

CHAPITRE 2

Méthodologie

Douze sujets sains et en bonne condition physique ont effectué à deux reprises (une fois avec et l'autre sans bâtons, selon un protocole croisé) une randonnée de 5 à 7 heures et dont le parcours présentera une bonne dénivellation et un sentier plutôt inégal et accidenté. Les sujets étaient généralement couplés et exécutaient ainsi le parcours deux à la fois, ce qui était plus rassurant et sécuritaire.

Sujets

Les participants étaient six hommes et six femmes dont l'âge moyen était de 22,67 \pm 2,10 ans lors de l'expérimentation. Ils sont tous étudiants, au collège ou à l'université, et pratiquent une activité physique modérée ou intense au moins une fois par semaine.

Tableau 2.1. Description des participants

	Poids kg	taille (m)	IMC	Âge (ans)
M-A	73,8	1,77	23,56	22
M-D	68,0	1,72	22,99	24
M-M	81,0	2,02	19,85	23
M-R	70,0	1,82	21,13	20
M-S	65,0	1,71	22,23	22
M-T	61,0	1,72	20,62	19
F-Ca	58,0	1,58	23,23	26
F-Cé	76,0	1,73	25,39	21
F-E	76,0	1,67	27,35	26
F-K	73,6	1,67	26,33	23
F-ML	64,0	1,67	22,95	23
F-V	64,5	1,71	21,93	23
Moyenne\pm				
Écart-Type	69,24 \pm 6,97	1,72 \pm 0,11	23,2 \pm 2,3	22,7 \pm 2,1

Protocole

Le matin, avant la randonnée, le taux de lactate sanguin puis la force maximale des extenseurs de la jambe ont été évalués. La lactatémie a été mesurée à l'aide d'un analyseur Accusport (Boehringer Type 1488767) et de languettes BM-Lactate à partir d'une goutte de sang prélevée sur l'extrémité distale du majeur gauche. Pour mesurer la force maximale, le sujet devait se tenir debout, en équilibre sur la jambe gauche et le dos appuyé à un pilier (voir figure 1.1). Le pied droit était inséré dans un harnais, juste après le talon, de façon à ce que la jambe soit verticale et que l'angle au genou mesure 110 degrés. Un dynamomètre (Pacific Scientific Company, Model T5-6007-114-00) mesurait la tension d'un fil de fer inséré entre le harnais et une chaîne fixée au-dessus, verticalement. Le participant a dû exercer une pression maximale vers le bas dans le harnais, à dix reprises.

Le cardio-fréquencemètre était ensuite installé sur le sujet, la montre (Polar Electro 0537) au poignet et le transmetteur juste sous le sternum. Une charge de 20% de la masse corporelle était subséquemment imposée aux sujets, dans un sac à dos confortable et ajusté selon les indications du manufacturier. Par tirage au sort, l'un des sujets commençait avec les bâtons et son partenaire sans. Le premier essai de randonnée pouvait alors commencer.

Parcours. Le parcours choisi pour l'expérimentation correspond à une boucle de 17 km dans le Parc National de la Mauricie. Il s'agit du sentier des «Deux-Criques»,

comprenant plusieurs petites ascensions et une surface variée, encombrée surtout de racines et de quelques roches. Les situations de déséquilibre ne devraient pas manquer et une certaine fatigue est assurée. Le sentier choisi avait aussi l'avantage de se trouver très près de la route et d'un bâtiment avec eau courante, électricité et téléphone pour les urgences. Il est par ailleurs fort bien balisé, avec des pancartes identifiées à différents points du parcours.

À certains de ces points de repères, identifiés sur une fiche personnelle (voir l'annexe 1), les participants étaient invités à inscrire l'heure de même qu'un chiffre, sur une échelle de 1 à 10, correspondant à leur perception de l'état de fatigue des membres inférieurs et du haut du corps, séparément, ainsi que la perception plus globale de l'effort demandé. Ces échelles subjectives (voir annexe 1) sont utilisées afin de comparer la sensation des sujets à ces différents niveaux.

Au belvédère du lac Rosoy, situé à 100 mètres du point « K » (voir la carte du sentier en annexe 2), une nouvelle mesure du taux de lactate était effectuée. Il y avait donc deux possibilités : l'expérimentateur pouvait suivre les sujets tout au long de leur randonnée et s'assurer de prendre un peu d'avance avant le point « K », ou alors utiliser la route et le sentier Mékinac pour se rendre au belvédère en seulement 4 km de marche. Après 2 jours d'expérimentation, la première option a été retenue afin d'éviter tout doute aux participants quant à la direction, la distance à parcourir et le rythme de progression. Il restait ensuite 6 km à parcourir avant de revenir au point de départ et de mesurer à

nouveau le taux de lactate et la force maximale des membres inférieurs, selon le procédé décrit précédemment.

Environ une semaine plus tard, le deuxième essai avait lieu, en suivant exactement les mêmes procédures, à la différence près que le sujet ayant utilisé les bâtons la première fois ne les avait plus et vice versa. Les participants étaient encouragés à respecter, dans la mesure du possible, la vitesse qu'ils avaient à l'essai précédant en se référant aux temps inscrits la première fois.

Prédiction de la dépense énergétique. Un test en laboratoire avec chacun des participants a été effectué afin d'interpoler la DÉ à partir de la relation FC-VO₂. La mesure d'un test progressif maximal (VO₂ max), effectué dans les semaines suivant l'expérimentation sur le terrain, a fourni les données nécessaires à une telle interpolation. Le protocole utilisé a été pensé en fonction de correspondre le mieux possible aux conditions expérimentales sur le terrain. Le test a été fait sur tapis roulant et chaque palier durait 2 minutes. Les participants ont dû marcher à une vitesse constante de 6 km/heure alors que l'inclinaison du tapis augmentait de 2 degrés par palier. À partir du neuvième palier, soit à la 16^e minute, la pente cessait de varier à 14 degrés alors que la vitesse augmentait de 2 km/heure par palier jusqu'à la fin du test.

Tableau 2.2. Protocole du test progressif sur tapis roulant

TEMPS (minutes)	PENTE (degrés)	VITESSE (km/h)
0-2	0	6
2-4	2	6
4-6	4	6
6-8	6	6
8-10	8	6
10-12	10	6
12-14	12	6
14-16	14	6
16-18	14	8
18-20	14	10

Les participants ont volontairement mis fin à l'épreuve lorsqu'ils se sont sentis à bout de souffle, à l'exception d'un sujet que l'expérimentateur a enjoint d'arrêter parce qu'il avait atteint sa fréquence cardiaque maximale estimée par l'équation « $220 - \text{âge du sujet}$ ». Cette précaution pour éviter tout malaise n'aura pas modifié quoi que ce soit puisque jamais, dans les essais sur terrain, le même sujet n'a atteint ou ne s'est même rapproché d'une telle fréquence cardiaque. L'analyse des gaz expirés (Vacumed, Ventura, CA), dont les mesures étaient prises toutes les trente secondes, a permis d'évaluer la consommation d'oxygène correspondant aux différentes fréquences cardiaques rencontrées pendant le test sur tapis, et par interpolation grâce aux équations de prédiction, à toutes les autres. Ces équations fournissent une façon d'interpoler la consommation d'oxygène selon la fréquence cardiaque d'un sujet particulier.

Mesures sur le terrain. De fait, l'analyse de la dépense énergétique ne s'est pas faite à partir de la fréquence cardiaque moyenne. Les mesures de la fréquence cardiaque, prises à chaque minute, ont plutôt été compilées et classées en intervalles de

5 bpm. La médiane de ces intervalles a servi de valeur «x» dans les équations de prédiction élaborées grâce aux tests d'aptitudes aérobie. Ainsi, en multipliant la consommation d'oxygène pour une fréquence cardiaque de 102 bpm par la fréquence de mesure obtenues sur le terrain entre 100 et 104 bpm, nous obtenons une estimation de la consommation d'oxygène pour toute la durée de la randonnée qui s'est effectuée dans cet intervalle d'intensité relative. Il suffit ainsi de répéter le calcul pour chacun des intervalles de fréquence cardiaque dans lesquels les participants ont progressé pour estimer la consommation totale d'oxygène pour chacun des essais sur le terrain.

La valeur obtenue est en litre d'oxygène et doit être convertie en kilocalories pour juger de la dépense d'énergie. Pour ce faire, il faut multiplier la consommation en litre d'oxygène par la valeur appropriée en kcal selon les substrats énergétiques utilisés pour produire cette énergie. C'est le ratio d'échange respiratoire (RER) qui indique la proportion de glucides et de lipides utilisés. Sachant que l'oxydation du palmitate par exemple fournit 4,66 kilocalories par litre d'oxygène consommé tandis que l'oxydation du glucose en fournit 5,01 (Rigaud et Melchior, 1992), il faut alors connaître le pourcentage de chacun des substrats utilisés et effectuer les calculs appropriés. Le RER étant enregistré lors du test en laboratoire, il aurait été intéressant d'interpoler les substrats utilisés en randonnée en suivant le même procédé que pour la consommation d'oxygène. Outre la tâche substantielle que cela représente, il faut s'interroger sur la pertinence de telles interpolations. En effet, plusieurs facteurs interviennent dans la détermination du RER pour une même FC. Il aurait fallu tenir compte du cycle

menstruel des sujets féminins (Bergman et Brooks, 1999), ce qui n'a pas été fait pour des raisons de temps et de logistique. De plus, bien que les dîners aient été fournis et standardisés au cours des randonnées, les déjeuners n'ont pas été contrôlés et le régime alimentaire des jours précédents non plus, pas plus que durant la période précédant le test en laboratoire. La composition des repas a pourtant un impact important sur les substrats utilisés par la suite (Bergman et al., 1999). Ce qui démentirait le plus les interpolations individuelles des RER à partir des tests en laboratoire, cependant, est la durée prolongée des randonnées. En effet, Bergman et al. (1999) précisent dans leur étude que le RER baisse avec la durée d'un exercice à intensité continue, passant de 0,99 après 18 minutes d'effort à 0,92 après 60 minutes. Ces facteurs réunis laisseraient peu de crédibilité aux données obtenues à partir d'interpolation du RER.

Or, il est d'usage d'utiliser la valeur moyenne de 4,84 kcal par litre d'oxygène consommé lorsqu'il s'agit d'estimer la dépense calorique d'individus ayant un régime alimentaire mixte. Cette estimation donnerait à 5 à 10% près la valeur obtenue en calculant à partir des différents substrats utilisés (Rigaud et al., 1992). Le contexte de la présente étude nécessiterait certes une façon de procéder qui tiendrait compte de l'intensité de l'effort et de la différence entre les femmes et les hommes quant à celle-ci (voir les résultats). Mais il semble plausible que les différences que l'on pourrait en tirer à propos de la DÉ n'auraient que très peu d'incidence sur les résultats lorsqu'on compare les essais avec et sans bâtons. En effet, les sujets étant leur propre contrôle, les différences de RER sont à peu de chose près équilibrées. Sûrement la DÉ serait-elle

quelque peu changée, mais de façon semblable pour les essais avec et sans bâtons de marche.

En somme, la valeur suggérée par Rigaud et al. a été retenue. La consommation en litres d'O₂ a donc été multipliée 4,84 pour obtenir un résultat en terme de kcal. En divisant cette valeur par le temps en minutes (ou plutôt le nombre de mesures utilisées dans le calcul), la dépense énergétique par minute peut être comparée d'un individu à l'autre et d'un essai à l'autre.

Analyse statistique

Afin de caractériser l'impact des bâtons de marche, les données ont été compilées et comparées à l'aide d'analyse de variance pour mesures répétées. Pour certaines données (la différence de force par exemple), le t pairé de Student a aussi permis d'évaluer la différence de moyennes jumelées. Des tests de corrélation ont été effectués afin d'établir des relations éventuelles entre la vitesse de randonnée, la condition physique et l'habitude d'utilisation des bâtons avec l'impact que ceux-ci peuvent avoir.

CHAPITRE III

Résultats

Ce chapitre sera subdivisé afin de mieux cerner l'impact des bâtons de marche sur la fréquence cardiaque et la dépense énergétique, puis sur les résultats des échelles de perception, la fatigue des membres inférieurs calculé par les tests de force puis, finalement, la lactatémie.

Fréquence cardiaque et dépense énergétique

La fréquence cardiaque moyenne, pour neuf sujets sur douze (75% de l'échantillon), est légèrement plus élevée avec l'utilisation de bâtons en randonnée. Plus spécifiquement, 50% des sujets masculins ont vu leur fréquence cardiaque moyenne augmenter contre 100% des sujets féminins de l'étude. L'augmentation moyenne de la Fc est de $3,61 \pm 5,85$ battements à la minute (bpm), mais elle varie en fonction du sexe: $1,84 \pm 6,99$ bpm pour les hommes et $5,37 \pm 4,35$ bpm ($P < 0,05$) pour les femmes.

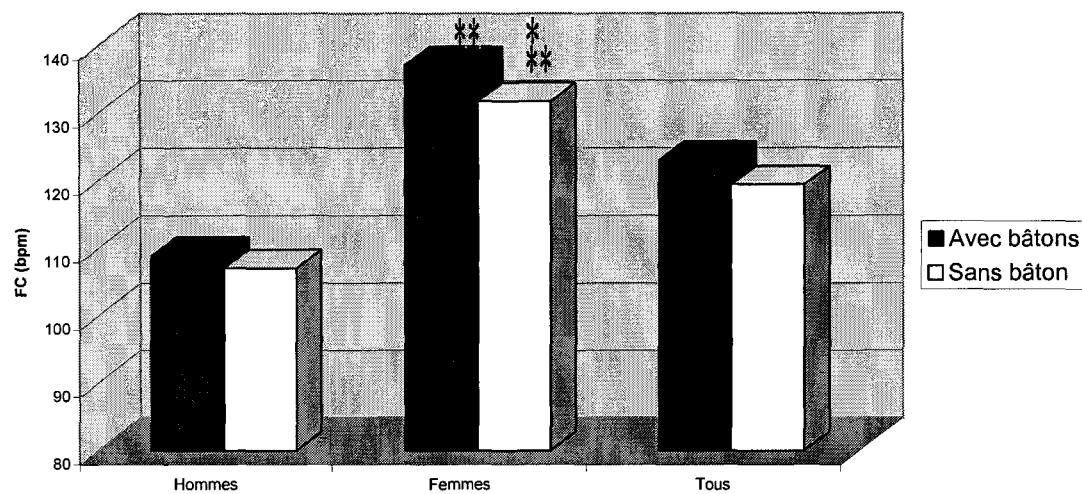


Figure 3.1 Fréquences cardiaques moyennes avec ou sans bâtons. * $P < 0,05$

**Femmes diffèrent des hommes, $P \leq 0,05$.

Ce qui est particulièrement intéressant, c'est que si l'on se fie aux courbes de prédiction fournies par les tests en laboratoire de chaque participant, cette fréquence cardiaque plus élevée avec bâtons se traduit par une augmentation d'autant plus grande de la dépense énergétique.

Avant d'élaborer davantage sur la consommation d'oxygène et la dépense énergétique, une légère digression vers les tests en laboratoire d'où sont tirées les équations de prédiction et toutes les données qui s'y rattachent s'impose. Les équations obtenues grâce aux données des tests de $\dot{V}O_2$ max sont de type logarithmique et ont un coefficient de corrélation entre la $\dot{V}O_2$ et la Fc de $r = 0,89$ à $0,97$, pour un coefficient moyen très satisfaisant de $0,94 \pm 0,02$ ($P < 0,05$).

Au cours des tests, les participants ont complété entre 5 et 10 paliers, avec une moyenne de 7,83 paliers. Un bref aperçu des résultats suffit pour constater des différences selon le sexe des sujets. La figure 3.2 montre en effet que les hommes ont complété 2,33 paliers de plus que les femmes ($P < 0,05$). Un seul sujet féminin (16,67%) a eu à courir sur le tapis roulant, comparativement à cinq sujets sur six (83,33%) chez les hommes. Étant donné que la marche en ascension est plus près des essais sur le terrain que la course, il serait logique de croire que les tests, et conséquemment les équations de prédiction, sont plus justes pour les femmes. Cependant, les fréquences cardiaques atteintes au cours des randonnées n'atteignent généralement pas celles mesurées lors de la course sur tapis. En d'autres mots, l'intensité des essais sur le terrain était moindre que celle de la course à 8 km/heure ou plus sur une pente de 14 degrés. La quantité d'oxygène consommée interpolée ensuite à partir des mesures de fréquence cardiaque sur le terrain se retrouve à l'intérieur des valeurs obtenues à la marche durant le test en laboratoire.

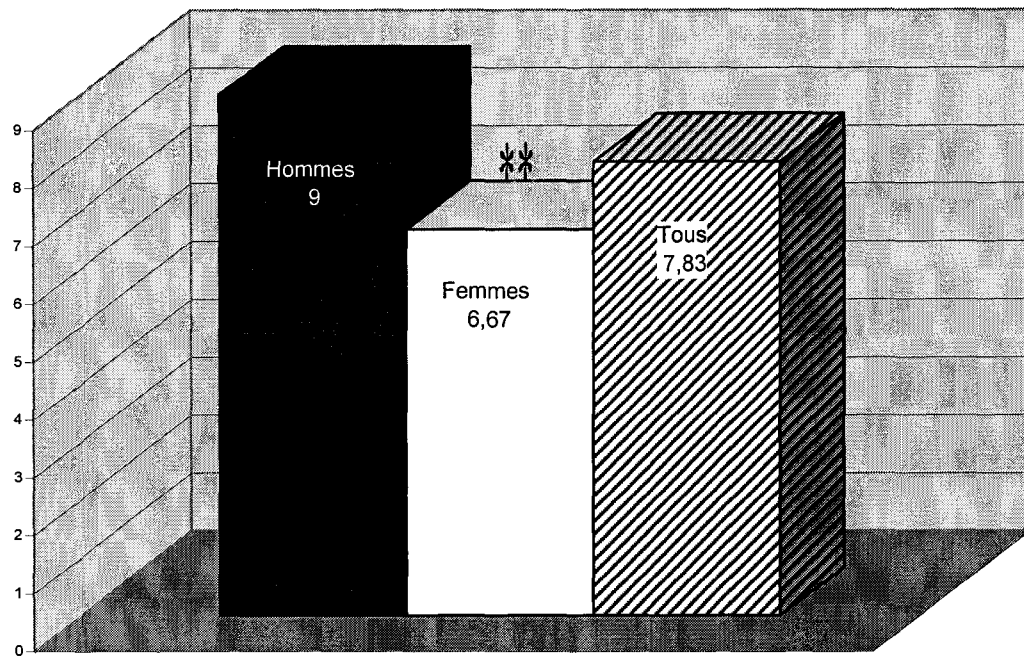


Figure 3.2 Paliers complétés au $\dot{V}O_2$ max, selon le sexe. ** Différent de la moyenne des hommes; $P < 0,05$

Malheureusement, les cardio-fréquencemètres ont parfois eu de la difficulté à capter la fréquence cardiaque de certains sujets sur le terrain. En moyenne, respectivement 72% et 74% de la durée des randonnées avec et sans bâtons ont été enregistrés correctement. Il fallait donc trouver une façon de comparer le plus justement possible la dépense énergétique des sujets puisque la dépense totale n'était plus recevable. Comme il n'y a pas de différence significative au niveau de la durée des essais avec et sans bâtons des participants (1,12% plus courte avec les bâtons que sans bâtons, soit en moyenne 2,08 minutes de moins avec les bâtons ($\pm 33,01$)), relativiser les résultats en les ramenant en litres par minute (L/min) ou en kilocalories à l'heure

(kcal/h), par exemple, ne pose pas de problème. Il est donc possible d'affirmer, suite à ces calculs, que la différence de la consommation d'oxygène en litre par minute est de 8,71% a tendance à être plus élevée avec l'utilisation des bâtons que sans, ce qui se traduit par une augmentation de 140ml d'O₂/min (P= 0,06). Si l'on rapporte ces résultats au poids de chaque sujet, pour obtenir des valeurs en ml/min/kg, les hommes ont consommé en moyenne 19,66 ml d'O₂/min/kg avec les bâtons par rapport à 17,93 sans ces derniers. La consommation d'oxygène des femmes suit la tendance avec 20,99 ml/min/kg avec les bâtons et 18,86 sans bâtons. Hommes et femmes confondus, les participants ont consommé 20,27 ml d'O₂/min/kg et 18,35 ml d'O₂/min/kg avec et sans les bâtons, respectivement. La différence d'un peu moins de 2 ml semble minime. Pourtant, à chaque heure de marche avec bâtons, un individu moyen de 70 kg aurait dépensé 38,92 kcal de plus que sans bâton.

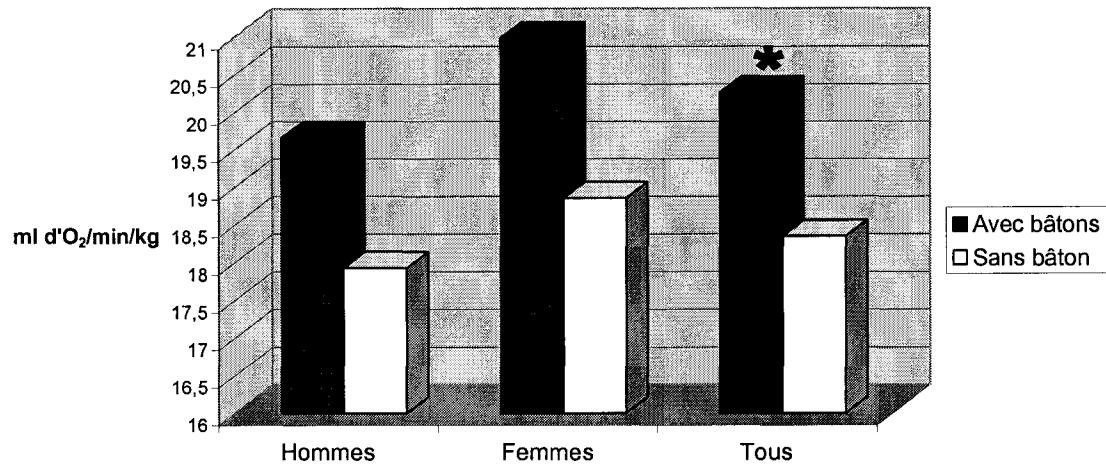


Figure 3.3 Consommation d'oxygène moyenne par minute par kg, avec et sans bâtons.

* $P < 0.05$

Perception de l'effort

Si les moyennes, au niveau de la fatigue des membres inférieurs, des membres supérieurs et de l'effort général, diffèrent légèrement comme le montre la figure 3.4, les tests statistiques ne distinguent aucune différence significative. La variabilité est fort prononcée entre les sujets, avec des écarts-type de 1,32; 0,70 et 0,89, pour les hommes, les femmes et tous les sujets, respectivement, par rapport aux différences moyennes entre les essais avec et sans bâtons (0,38; 0,15 et -0,18 respectivement). Notons tout de même que les bâtons ont une légère tendance à augmenter la fatigue musculaire ressentie sur une échelle de 1 à 10, tant au niveau des membres supérieurs qu'inférieurs, tout en diminuant quelque peu la perception de l'effort global donnée sur l'échelle de

Borg. Les écarts de mesure entre les essais semblent pourtant minimes, voire contradictoires.

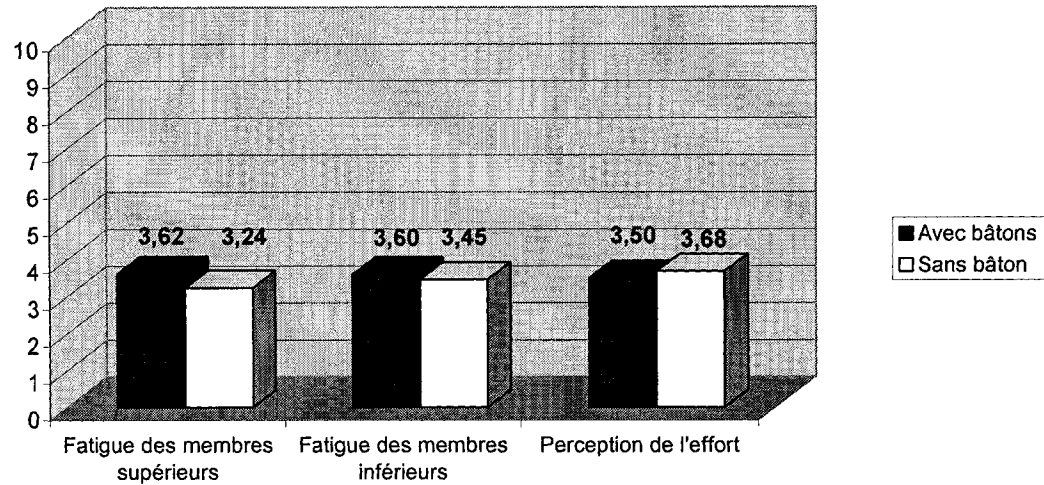


Figure 3.4 Perception de fatigue et d'effort, avec et sans bâtons.

Fatigue des membres inférieurs

Mesurer la capacité des membres inférieurs à produire une force maximale avant et après effort, avec et sans bâtons, n'avait jamais servi à estimer la fatigue sur le terrain. Malgré les précautions prises pour standardiser les mesures et les directives claires et précises données aux participants, les résultats sont mitigés et peu concluants. La capacité à produire une force parfois augmente après l'effort plutôt que de diminuer comme l'on pourrait logiquement s'y attendre, la fatigue de la randonnée devant nuire à l'efficacité de la contraction musculaire. La figure 3.5 montre clairement la disparité et l'incohérence des données.

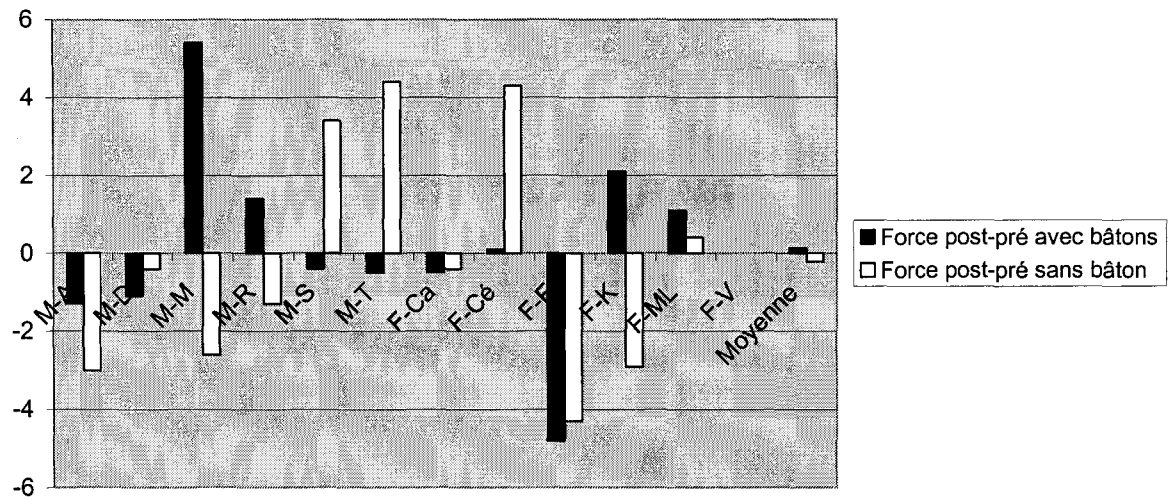


Figure 3.5 Différence de force chez chaque sujet après la randonnée par rapport à avant, avec et sans bâtons.

Lactatémie

L'hypothèse selon laquelle le taux de lactate sanguin devait diminuer en raison de l'intensité relative moindre du travail musculaire apparaît réfutée en regard des présentes données. La figure 3.6 montre une concentration moyenne de lactate plus élevée lors des essais avec bâtons. Il est curieux cependant de constater une similitude entre les mesures prélevées au belvédère, soit à mi-parcours, après une bonne montée, et celles prélevées à l'arrivée, après une descente et quelques kilomètres de plat approximatif.

Tableau 3.1.

Taux de lactate dans le sang (mmol/L)

Sujets	Repos Bâtons	Repos Sans bâtons	Belvédère Bâtons	Belvédère Sans bâtons	Arrivée B	Arrivée SB
M1	2,5	5,6	2,4	1,3	1,9	1,4
M2	3,2	3,4	5,7	4,5	2,3	1,6
M3	0,8	2,6	1,8	3,2	1,4	10,2
M4	1,8	2,2	4,4	1,1	2	1,7
M5	1,7	0,7	12,7	2,5	4,6	0,9
M6	1,5	4,2	3,5	5,1	0,9	2,4
F1	2,6	3,6	1,7	2,4	7,3	1,5
F2	2,7	2,0	0,7	2,3	15,9	2
F3	2,4	1,3	4,3	1,8	1,9	1,9
F4	2,8	3,3	4,4	2,6	2,6	1,9
F5	3,3	2,2	2	1,7	1,9	2,9
F6	2,4	2,2	1,9	1,9	2,1	1,8
MOYENNES ± ÉCARTS- TYPES	2,31±0,73	2,78±1,33	3,79±3,17	2,53±1,21	3,73±4,20	2,52±2,47

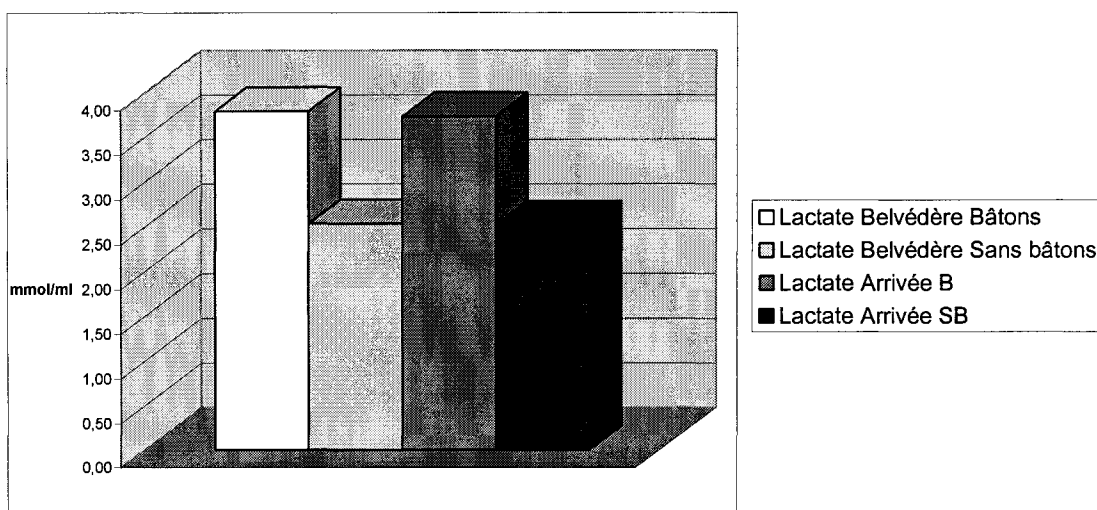


Figure 3.6 Concentration de lactate à mi-parcours et en fin de parcours, avec et sans bâtons

CHAPITRE IV

Discussion

Les résultats généraux suggèrent somme toute peu de différence entre la marche avec et sans bâtons. Bien sûr, il y a une tendance à l'augmentation de la fréquence cardiaque et un surcroît de dépense énergétique encore un peu plus marqué avec les bâtons. Mais ces différences restent modestes avec des écarts-types prononcés, aussi faudrait-il quelques sujets supplémentaires pour les prouver plus solidement. En fait, pour le cas de la FC, et si la tendance se maintenait, un seul sujet supplémentaire pourrait fournir des données suffisamment puissantes au niveau statistique pour affirmer une réelle accélération du rythme cardiaque lors d'une randonnée pratiquée avec des bâtons de marche (à un seuil de 5% bilatéral). Les sujets féminins montrent une plus forte tendance des bâtons à augmenter leur FC. Un test statistique appliqué uniquement aux femmes de l'étude révèle une augmentation significative de leur fréquence cardiaque avec bâtons ($P < 0,05$). Comme il n'y a pas de différence notable entre les hommes et les femmes quant à l'habitude qu'ils ont des bâtons en randonnée, il faut chercher une autre explication. En outre, les femmes ont accompli la randonnée à une fréquence cardiaque moyenne plus élevée que les hommes, que ce soit avec ou sans bâtons. Les tests en laboratoire suggèrent que les sujets masculins étaient en meilleure condition physique que les femmes ($P < 0,05$), ce qui expliquerait la plus haute fréquence cardiaque pour un même trajet et des conditions similaires. Néanmoins, la vitesse de

progression était libre et les femmes ont donc choisi de progresser à une intensité relative plus élevée que les hommes. En effet, à l'exception de deux sujets, les participants ont effectué la randonnée seuls ou jumelés avec un participant du même sexe. Bien qu'aucun test psychologique n'ait été effectué, peut-être les participantes avaient-elles un caractère plus compétitif que les hommes ou simplement l'habitude de fournir un effort plus grand (surtout lors d'un test). Cela pourrait expliquer la différence plus marquée que l'on dénote dans les paramètres associés à l'utilisation de bâtons. Leur façon de les utiliser était peut-être sensiblement plus soutenue que celles des sujets masculins en raison de caractéristiques intrinsèques.

Consommation d'oxygène et dépense calorique.

La hausse de la dépense énergétique, quant à elle, nécessiterait 4 sujets supplémentaires pour être significative au niveau statistique, cela évidemment si les données fournies par ces sujets additionnels suivaient la direction de celles obtenues au cours des essais déjà effectués.

Cependant, il est difficile de prétendre à des coûts physiologiques majorés dramatiquement. Avec une consommation supérieure d'oxygène d'à peine 2ml par kilogramme de masse corporelle par minute avec les bâtons, il faut marcher très longtemps pour compter une dépense calorique supplémentaire qui équivaldrait à un kilogramme. En effet, on peut estimer qu'un randonneur de 70 kg utilisant les bâtons et dont le régime correspondrait à la dépense énergétique nécessaire à une randonnée de

six heures par jour sans bâton (plus la dépense au repos), aurait un déficit de 1635 kcal au bout d'une semaine, ce qui correspondrait à une perte de poids d'à peine un quart de kilogramme. Il n'est certes pas néfaste, toutefois, de suggérer à des marcheurs désireux de perdre du poids d'utiliser des bâtons. Leur conseiller un mouvement plus dynamique des bras avec ces derniers devraient par ailleurs maximiser la dépense énergétique (Porcari et al. 1997).

Par ailleurs, les randonneurs se voulant plus économes en dépense énergétique et ne voulant pas se charger de nourriture supplémentaire lors de longues expéditions n'ont pas vraiment à se priver de bâtons. La dépense additionnelle moyenne trouvée dans la présente étude, équivalent à 0,56 kcal/kg/heure, peut en effet être facilement comblée sans ajouter de poids à son bagage, simplement en optant pour une nourriture un peu plus riches en sucres naturels et en gras, ou encore en ajoutant du sucre à l'eau. Un marcheur de 70 kg dépenserait ainsi, en une journée de 6 heures de marche, 233,55 kcal de plus en utilisant les bâtons que sans. Un déficit calorique qui peut être comblé facilement mais qui nécessite une collation supplémentaire : une barre granola (110 kcal) et 200 ml de jus de fruits (120 kcal) par exemple.

En somme, si l'on se sent plus sûr devant les obstacles d'un sentier, utiliser les bâtons sera un avantage en ce sens que la confiance apportée n'est contrebalancée par aucun désavantage majeur tel qu'un effort démesurément augmenté.

Fatigue des membres inférieurs

L'hypothèse selon laquelle la fatigue des membres inférieurs serait moindre avec utilisation de bâtons est cependant réfutée. Les résultats montrent une grande variabilité selon les sujets, tant au niveau de la perception que de la mesure de la force exercée par les membres inférieurs. Il est connu cependant que le cycle circadien influe sur la force d'individus et que certaines heures sont plus propices que d'autres à la performance. Les mesures avant l'effort ont toutes été prises le matin, entre 8h30 et 10h30, alors que les mesures après l'effort ont été cumulées en après-midi, 5 à 7 heures plus tard, selon la durée des essais. La possibilité que le moment de la journée ait une telle influence sur la production de force sur certains sujets n'avait pas été envisagée. Il se peut cependant que le manque de fidélité de cette mesure puisse avoir amené des variations importantes. Une disparité, même minime, au niveau de l'angle au genou ou de la position de la jambe de soutien suffirait à faire varier les mesures et il est plausible que de telles déviations aient été commises. L'utilisation d'un appareil de laboratoire normalisé et précis, tel que le LIDO, aurait certainement donné une évaluation plus juste de la fatigue, bien que cela ait été inconcevable en plein Parc de la Mauricie. Néanmoins, la perception de fatigue au niveau des membres inférieurs est toute aussi variable d'un sujet à l'autre, avec et sans bâton. L'habitude des bâtons pourrait aussi intervenir, en ce sens que l'utilisation plus ou moins adéquate des bâtons pourrait expliquer que certains sujets semblent moins ressentir que d'autres la fatigue au niveau des membres inférieurs avec les bâtons. Il est pourtant difficile ici de déterminer l'impact de ce facteur puisque

la majorité des sujets avaient déjà utilisé de tels bâtons et que la randonnée elle-même, d'une durée de cinq à sept heures, permettait une certaine accoutumance.

Les résultats ne montrent par contre pas plus d'augmentation significative de la perception de l'effort global, ce malgré une fréquence cardiaque et une dépense énergétique légèrement augmentée. Encore une fois, l'on peut conclure que le marcheur qui, essayant les bâtons lors d'une excursion et se sentant de ce fait moins fatigué, pourra les adopter sans rien compromettre ou risquer sur le plan physiologique. En fait, avec les études qui vantent les bienfaits des bâtons de marche au niveau des impacts aux articulations et autres données biomécaniques, il est intéressant de constater qu'aucun paramètre physiologique ne vient compromettre leur intérêt en randonnée.

Bien sûr, utiliser les bâtons sollicite davantage les muscles des membres supérieurs, augmentant de ce fait la fréquence cardiaque moyenne, la dépense énergétique et la perception de l'effort de ces membres. Cependant, comme la consigne est d'utiliser les bâtons naturellement et sans exagération, l'intensité du travail des membres supérieurs demeure faible en comparaison aux membres inférieurs. Le partage de l'effort, si partage il y a vraiment, est négligeable. La fréquence cardiaque, de même que la plupart des autres paramètres observés, ont ainsi tendance à augmenter avec l'utilisation de bâtons. Ces augmentations sont minces et rarement significatives, il est vrai, tout comme l'effort demandé aux bras par les bâtons et la charge des bâtons eux-mêmes sont limités.

Taux de lactate sanguin

Les mesures individuelles, observables dans le tableau 3.1, semblent fort arbitraires. L'appareil de mesure est prévu pour des températures s'apparentant plutôt à celles rencontrées à l'intérieur, ou alors l'été. Il fallait reprendre les tests à quelques reprises pour obtenir une valeur avec certains sujets. Les délais encourus ont également pu altérer les résultats, en laissant plus de temps au système de métaboliser le lactate. Quel que soit la cause des aberrations qui en découlent, rien n'est statistiquement significatif dans les résultats concernant la lactatémie. L'idée que la fréquence cardiaque, la demande énergétique, la fatigue des membres inférieurs et supérieurs augmentent de paires avec le taux de lactate sanguin lorsqu'un même individu utilise les bâtons n'est pourtant pas à négliger

CHAPITRE V

Conclusion

Sur le plan physiologique, les bâtons n'entraînent que peu de changements significatifs. Seule la fréquence cardiaque et la dépense énergétique se trouvent significativement augmentées avec l'utilisation de bâton en randonnée, et ce uniquement pour les sujets féminins. Un échantillon un peu plus grand (de 15 à 20 randonneurs, par exemple) pourrait vraisemblablement confirmer avec une plus grande puissance statistique les tendances observées lors de cette étude.

Ces tendances sont une légère augmentation de la fréquence cardiaque, de la dépense énergétique, de la perception de l'effort des membres supérieurs et inférieurs et de la concentration de lactate dans le sang de même qu'une infime diminution de la perception de l'effort général avec les bâtons. Cette petite tendance à la diminution de la perception de l'effort général avec l'utilisation de bâtons peut paraître incohérente avec les autres tendances. Cependant, il semble que la fatigue à l'exercice soit un concept fort complexe et encore nébuleux où les muscles et leur réserve d'énergie ne sont qu'une part des facteurs. Le cerveau, pour maintenir l'homéostasie dans les divers cellules du corps, intègre des messages périphériques qui induisent la fatigue centrale et il est encore difficile de déterminer ce qui provoque plus ou moins la génération de ces messages (Noakes, St-Clair Gibson et Lambert, 2005).

Somme toute, si un plus grand échantillon serait nécessaire à des résultats plus concluants, c'est que la différence réelle pour tous les paramètres examinés reste minime. Il est ainsi possible de conclure que l'utilisation de bâtons par le randonneur moyen ne modifiera pas outre mesure l'exercice qu'il pratique. Pour le marcheur désireux d'augmenter sa dépense énergétique, il vaudrait mieux privilégier un mouvement plus dynamique des bras, et sans doute l'utilisation de bâtons plus lourds. Évidemment, le poids augmentera le travail des bras et, par le fait même, la dépense calorique de la marche.

S'il existe une raison de recommander ou même d'exiger les bâtons de marche dans certains endroits comme c'est actuellement le cas, ce n'est pas au niveau physiologique que nous la trouverons. Une approche biomécanique pourrait fournir des indications sur l'atténuation des chocs aux articulations apportée par les bâtons et l'équilibre que fournissent certainement ces deux appuis supplémentaires. Une étude épidémiologique pourrait aussi permettre de vérifier si les bâtons diminuent les blessures d'usure. Pour l'instant du moins, il faudra se fier aux études en laboratoire puisque rien n'a été publié de tel d'après une étude sur le terrain.

Au terme de cette étude, il semble que l'utilisation de bâtons en randonnée ne soit ni à conseiller, ni à proscrire. Chaque marcheur pourra déterminer de lui-même s'il se sent plus à l'aise avec ceux-ci ou non, sans s'inquiéter de fatigue, de dépense énergétique, d'acide lactique ou autre.

RÉFÉRENCES

- Bergman, B.C., Brooks, G.A. (1999) Respiratory gas-exchange ratios during graded exercise in fed and fasted trained and untrained men. *Journal of Applied Physiology* 86, 479-487.
- Church, T.S., Earnest, C.P., Morss, G.M. (2002) Field testing of physiological responses associated with nordic walking. *Research Quarterly for Exercise and Sport* 73, 296-300.
- Falola, J.M., Brisswalter, J. et Delpech, N. (1999) Effet d'une charge sur le tronc sur la détermination d'une vitesse de marche optimale. *Science & Sports* 14, 201-204.
- Frigo, C., Carabalona, R., Dallamura, M. et Negrini, S. (2003). The upper body segmental movements during walking by young females. *Clinical Biomechanics* 18, 419-425.
- Jacobson, B.H., Wright, T. et Dugan, B. (2000). Load carriage energy expenditure with and without hiking poles during inclined walking. *International Journal of Sports Medicine* 21, 356-359.

Jacobson, B.H. et Wright, T. (1998). A Field test comparison of hiking stick use on heart rate and rating of perceived exertion. *Perceptual and Motor Skills* 87, 435-438.

Johnson, T.A., Benjamin, M.B. et Silverman, N. (2000). Oxygen consumption, heat production, and muscular efficiency during uphill and downhill walking. *Applied Ergonomics* 33, 485-491.

Knight, C.A. et Caldwell, E. (2000). Muscular and metabolic costs of uphill backpacking: are hiking poles beneficial. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 32, 2093-2101.

Knight, C.A., Merell, R.E. et Caldwell, G.E. (1998). Kinematic effects of hiking pole use in simulated uphill backpacking. *North American Congress on Biomechanics*, Waterloo, 135-136.

Leroux, A., Fung, J. et Barbeau, H. (1999). Adaptation of the walking pattern to uphill walking in normal and spinal-cord injured subjects. *Experimental Brain Research* 126, 359-368.

Leroux, A., Fung, J. et Barbeau, H. (2002). Postural adaptation to walking on inclined surfaces: I. Normal strategies. *Gait & Posture* 15, 64-74.

Noakes, T.D., St-Clair Gibson, A., Lambert, E.V. (2005). From catastrophe to complexity: a novel model of integrative central neural regulation of effort and fatigue during exercise in humans: summary and conclusions. *British Journal of Sports Medicine* 39, 120-124.

Porcari, J.P., Hendrickson, T.L., Walter, P.R., Terry, L. et Walsko, G. (1997). The Physiological Responses to walking with and without Power PolesTM on treadmill exercise. *Research Quarterly for Exercise and Sport* 68, 161-166.

Posterino, G.S., Dutka, T.L. et Lamb, G.D. (2001). L(+)-lactate does not affect twitch and tetanic responses in mechanically skinned mammalian muscle fibres. *European Journal of Physiology* 442, 197-203.

Quesada, P.M., Mengelkoch, L.J., Hale, R. et Denniston, N. (1996). Kinetic assessment of marching while wearing military style backpacks. *Gait & Posture* 4, 201-202.

Rigaud, D., Melchior, J.C. *Le métabolisme énergétique chez l'homme: methodes de mesures et applications pratiques*. Paris: Médicales internationales; 1992.

Spangenburg, E.E., Ward, W. et Williams, J.H. (1998). Effects of lactate on force production by mouse EDL muscle: implications for the development of fatigue. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology* 76, 642-648.

Stephens, M.J. et Yang, J.F. (1999). Loading during the stance phase of walking in humans increases the extensor EMG amplitude but does not change the duration of the step cycle. *Experimental Brain Research* 124, 363-370.

Vogt, L. et Banzer, W. (1999). Measurement of lumbar spine kinematics in incline treadmill walking. *Gait & Posture* 9, 18-23.

ANNEXE A

Fiche de Résultats sur le terrain

	Fatigue des membres inférieurs	Fatigue du haut du corps (cou, dos, épaules, membres supérieurs)	Perception de l'effort (général)	Temps
B				
E				
G				
H				
I				
J				
Belvédère du Lac Rosoy				
M				
B				
Arrivée				

ÉCHELLE

0 - 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10
 Nul Léger Modéré Intense Très intense Extrême

Lactate (mmol/L)

Repos	
Belvédère du Lac Rosoy	
Arrivée	

ANNEXE B
Carte topographique du sentier

Sentiers / Trails

Deux-Criques (17 km) / Mekinac (11 km)